

Herschel ne comprenait pas vraiment les causes de ces phénomènes, et il avait une capacité limitée à formuler mathématiquement ses découvertes. Ses atouts étaient la connaissance pratique de l'optique, combinée à son habileté en matière de fabrication d'instruments et ses talents d'observateur.

Son dernier article, présenté le 6 novembre 1800, contient le premier graphique représentant les distributions spectrales de la lumière visible et du rayonnement infrarouge (voir la figure 5). Il nomma ces courbes le « spectre d'éclairement » et le « spectre de chaleur ». Sur l'axe vertical, Herschel reporta la température mesurée et la luminosité perçue. Il leur fixa des maximums égaux afin de comparer l'étendue relative et la forme des distributions ainsi que la localisation de leur maximum. Pour l'axe horizontal, la notion de longueur d'onde étant encore inconnue, il utilisa la distance par rapport à l'endroit où les couleurs visibles éclairaient la table. Cet axe est inversé par rapport à la convention actuelle, qui consiste à représenter les longueurs d'onde croissantes de gauche à droite.

Un graphique trompeur

Le graphique de Herschel est le produit de son imagination, de son intuition et de mois de travail laborieux, mais il était trompeur. Son allure générale est sans doute le facteur décisif qui le conduisit à conclure que la lumière et la chaleur radiante sont, après tout, fondamentalement différentes.

La représentation des données peut influencer sur leur interprétation. Même aujourd'hui, il est difficile d'examiner le graphique de Herschel sans avoir l'impression que la lumière et la chaleur radiante sont deux entités distinctes. Les courbes de Herschel sont toutes deux exactes, mais elles correspondent à des quantités différentes et presque sans rapport, et ne devraient pas être représentées ensemble. Son erreur ne vient pas de ses données de base, mais du fait qu'il supposait les courbes comparables.

L'un des éléments manquants pour l'interprétation des courbes, et qui était un concept inconnu en 1800, est l'effet de la réponse du détecteur. La mesure réalisée

par tout instrument ou détecteur, y compris l'œil, résulte du produit de deux courbes : la distribution de la puissance reçue, et la courbe de réponse de l'instrument. Herschel supposait que le spectre mesuré représentait directement la distribution du rayonnement, sans imaginer que l'œil déformait ce signal par sa réponse.

Tout spectre créé à partir de ce que l'œil enregistre s'annule en dehors des limites de la vision. À l'intérieur de ces limites, la puissance reçue à n'importe quelle longueur d'onde est pondérée par la sensibilité de l'œil à cette couleur. Le pic de sensibilité, comme Herschel l'a correctement déterminé, est le jaune-vert à une longueur d'onde de 0,555 micromètre.

Par conséquent, le spectre d'éclairement de Herschel est davantage une carte de la façon dont l'œil répond aux couleurs que de la distribution de la lumière. Il voyait dans la forme de sa courbe une preuve que la lumière n'est pas également répartie sur le spectre. Son hypothèse était correcte, mais ses données ne le montraient pas. Il aurait obtenu une courbe pratiquement identique même si la distribution avait été uniforme.

En novembre 1800, Herschel est arrivé au bout de ce qu'il était possible de réaliser avec les connaissances et les techniques de son époque. Il retourna sans hésitation à son domaine de prédilection : l'astronomie.

L'apparence trompeuse de son graphique et les différentes sensations que sont la vision de la lumière et la sensation de chaleur l'ont finalement emporté sur ses données soigneusement recueillies, l'amenant à conclure que les deux énergies ne sont pas une seule et même grandeur physique.

Néanmoins, notre compréhension actuelle du rayonnement électromagnétique s'est développée à partir des mesures simples de température que Herschel a réalisées dans la lumière solaire. Elle s'est poursuivie avec l'unification du spectre par James Clerk Maxwell en 1861 et la formulation de la théorie quantique au XX^e siècle. Herschel ne pouvait pas prouver de façon concluante que la lumière et la chaleur radiante sont de même nature, mais ses expériences ont apporté des indices que d'autres allaient compléter pour résoudre l'énigme. ■

Le télescope spatial Herschel

L'Agence spatiale européenne a lancé en 2009 un télescope spatial nommé *Herschel* en l'honneur de l'astronome. Cet instrument observe le rayonnement infrarouge dans l'Univers. Il permet d'étudier la formation des nouvelles étoiles et l'évolution des galaxies. L'image ci-dessous est un nuage moléculaire (en fausses couleurs) au sein duquel se forment des étoiles.



BIBLIOGRAPHIE

J. Heilbron, *Weighing imponderables and other quantitative science around 1800*, *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 24, pp. 127-131, 1993.

D. J. Lovell, *Herschel's dilemma in the interpretation of thermal radiation*, *Isis*, vol. 59(1), pp. 46-60, 1968.

W. Herschel, *Experiments on the solar, and on the terrestrial rays that occasion heat*, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 90, pp. 293-326 et 437-538, 1800.

W. Herschel, *Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the Sun*, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 90, pp. 284-292, 1800.

LOGIQUE & CALCUL

L'homme, meilleur joueur que la machine

Grâce à de nouvelles méthodes de coordination, l'intelligence humaine produit parfois des résultats supérieurs à ceux des programmes informatiques.

Jean-Paul DELAHAYE

En mai 1997, le lendemain de la victoire de l'ordinateur *Deep Blue* sur Gary Kasparov, le quotidien français *Libération* titrait « L'homme est-il foutu ? » Aux échecs, l'ordinateur bat aujourd'hui le meilleur humain et cela semble irréversible. Cette supériorité de la machine concerne de nombreux autres jeux dits de stratégie. En fait partie le jeu de dames anglaises, pour lesquelles l'ordinateur sait calculer des stratégies optimales, c'est-à-dire définitivement imbattables, ce qu'il ne sait pas faire dans le cas des échecs où les programmes jouent bien, mais d'une façon perfectible (voir l'article de cette rubrique de janvier 2008).

Cependant, le champion humain reste meilleur que la machine au jeu de go. Le niveau « sixième dan » atteint en 2012 par le programme *Zen19D* a inquiété des professionnels, mais il ne fait pas de l'ordinateur un égal de l'homme à ce jeu.

Moins attendu, l'ordinateur *Watson* d'IBM a battu l'être humain en 2011 au jeu *Jeopardy* (du type *Questions pour un champion*), dont on pensait que la nature non combinatoire et fondée sur des énigmes linguistiques exigeait des connaissances générales et une intelligence hors de portée des machines. L'ordinateur a montré que l'intelligence artificielle progresse même là où certains pensaient qu'elle resterait bloquée. Bien sûr, la base de données de 15 téraoctets de *Watson*, qui lui donne accès instantanément à une quantité colossale d'informations, a contribué au

succès de l'ordinateur et s'il a gagné, c'est en utilisant des algorithmes de traitement du langage naturel très différents des procédures du cerveau humain. Comme aux échecs, la machine gagne, mais elle n'imité pas.

L'ordinateur progresse aussi dans la résolution d'autres tâches où sa logique binaire semblait le handicaper. Il y a la résolution automatique des mots-croisés, où le programme *Dr Fill* approche les meilleurs joueurs humains. Pour la conduite automobile, les progrès sont tels que dans certains États américains, des autorisations ont été accordées pour que des systèmes automatisés de conduite circulent sur les routes au milieu des autres véhicules... à la condition qu'ils soient surveillés par un humain pouvant reprendre le contrôle à tout instant.

Or de nouvelles méthodes d'utilisation et de coordination de l'intelligence humaine produisent des résultats étonnants, et même des renversements inespérés ! Plusieurs problèmes dont la nature combinatoire semblait déterminer une implacable victoire de la machine sur l'humain voient celui-ci produire de meilleures solutions que les algorithmes les plus perfectionnés fonctionnant sur les plus puissants des systèmes.

À la condition de transcrire les problèmes sous de bons formats (ce que l'on fait avec l'ordinateur), les cerveaux humains sont dans ces cas de meilleurs calculateurs que les ordinateurs. L'indispensable présentation sous la forme de jeu, et les interfaces informatiques graphiques complexes pour

que l'intelligence ludique des humains produise ces prouesses, suggèrent que c'est l'association ordinateur-humain qui résout les problèmes posés. Une telle analyse serait injuste, car l'ordinateur n'est qu'un serviteur qui présente les données, exécute les commandes de manipulation formulées par le joueur humain, et évalue s'il progresse vers la solution ou l'atteint : toutes les décisions sont prises par le joueur.

Plier des protéines

La connaissance de la suite linéaire des nucléotides d'une séquence génétique codant une protéine, une suite de lettres prises parmi A, C, T et G, détermine la séquence des acides aminés qui composent la protéine et son repliement en trois dimensions. Cette forme dans l'espace détermine les parties actives de la molécule et comment la protéine interagit avec les autres molécules. Connaître ce repliement est donc essentiel au biologiste. En première approximation, c'est un problème de minimisation d'énergie, mais les degrés de liberté sont si nombreux (plusieurs dizaines, parfois beaucoup plus) que la détermination du bon repliement est extrêmement difficile ; les programmes informatiques spécialisés n'y réussissent aujourd'hui qu'assez médiocrement.

Un programme interactif en ligne dénommé *Foldit* (« Replie-le ») a été développé conjointement par le *Center for Game Science* de l'Université de Washington et le